

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/005221

International filing date: 23 March 2005 (23.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-091686
Filing date: 26 March 2004 (26.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 12 May 2005 (12.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 4 年 3 月 2 6 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 0 9 1 6 8 6

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 4 - 0 9 1 6 8 6

出 願 人
Applicant(s): 学 校 法 人 同 志 社

2 0 0 5 年 4 月 2 0 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】	特許願
【整理番号】	P04007
【提出日】	平成16年 3月 26日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	F25B 9/00
【発明者】	
【住所又は居所】	京都府乙訓郡大山崎町大山崎藤井畑3 6－1
【氏名】	坂本 眞一
【発明者】	
【住所又は居所】	京都府京田辺市多々羅都谷1番3号内
【氏名】	渡辺 好章
【特許出願人】	
【識別番号】	503027931
【氏名又は名称】	学校法人同志社
【代理人】	
【識別番号】	100111349
【弁理士】	
【氏名又は名称】	久留 徹
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	163637
【納付金額】	21,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、

ループ管の内部に第一の作動流体を封入した後、当該第一の作動流体と異なる作動流体を注入して混合する混合手段を設けたことを特徴とする熱音響装置。

【請求項 2】

前記混合手段が、先にループ管に封入された音速の速い作動流体に対して、後から音速の遅い作動流体を注入する手段である請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 3】

前記混合手段が、先にループ管に封入された比重の小さい作動流体に対して、後から比重の大きい作動流体を注入する手段である請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 4】

前記混合手段が、先にループ管に封入されたプラントル数の小さな作動流体に対して、後からプラントル数の大きい作動流体を注入する手段である請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 5】

前記ループ管が、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを具備してなるものであり、前記混合手段が、当該ループ管の中央よりも上側に設けられたものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 6】

前記ループ管が、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを具備して左右対称形状に構成されるものであり、前記混合手段が、上側の連結管部の中央に設けられたものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 7】

更に、前記音の発生を検知する音検知手段を設け、この音検知手段によって定在波及び進行波の発生が検知された場合、若しくは、音波状態の変動が検知された場合に、前記作動流体の注入を開始する請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 8】

更に、前記ループ管内の圧力を計測する圧力計測手段を設け、この圧力計測手段によって一定の圧力が計測された場合に作動流体の注入を停止する請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 9】

前記混合手段が、前記第二高温側熱交換器若しくは第二低温側熱交換器から出力される熱の時間的变化に基づいて作動流体の注入を停止するものである請求項 1 に記載の熱音響装置。

【請求項 10】

前記混合された作動流体が、空気よりも軽い作動流体と空気よりも重い作動流体とからなるものであり、ループ管の下端に前記空気よりも重い作動流体を抜くための開口部を設けた請求項 1 に記載の熱音響装置。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 熱音響装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱音響効果を利用して対象物を冷却し、若しくは、加熱しうる熱音響装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

音響効果を利用した熱交換装置の従来技術に関しては下記の特許文献1や非特許文献1などに記載されるものが存在する。

【0003】

特許文献1に記載される装置は、熱音響効果を利用して冷却を行う装置に関するものであり、ヘリウムやアルゴン、若しくはこれらの混合ガスを封入したループ管の内部に、高温側熱交換器及び低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、高温側熱交換器及び低温側熱交換器に挟まれた蓄冷器とを設け、第一のスタック側の高温側熱交換器を加熱することによって生じた自励の定在波及び進行波によって蓄冷器側の低温側熱交換器を冷却するようにしたものである。

【0004】

また、非特許文献1にも同様に、熱音響効果を利用した冷却装置の実験的検討が開示されている。この実験に用いられる冷却装置も、内部にヘリウムやアルゴン、若しくはこれらの混合ガスを封入したループ管と、ヒーター（高温側熱交換器）及び低温側熱交換器とに挟まれた第一のスタックと、この第一のスタックの対向する位置に設けられた第二のスタックとを設けて構成される。そして、第一のスタック側に設けられたヒーター（高温側熱交換器）を加熱するとともに、低温側熱交換器に水道水を循環させることによって第一のスタック内に温度勾配を発生させ、この温度勾配と逆方向に自励による音波を発生させる。そして、その音エネルギーをループ管を介して蓄冷器側に移送し、エネルギー保存の法則により、第二のスタック側でその音エネルギーと逆方向に熱エネルギーを移送させて、第二のスタックの他端側に設けられた温度計近傍を冷却するようにしたものである。この文献によれば、所定の条件のもと、温度計が設けられる部分で約16℃の温度低下が確認されている。

【特許文献1】 特開2000-88378号公報

【非特許文献1】 坂本眞一、村上和宏、渡辺好章 著「熱音響効果を用いた音響冷却現象の実験的検討」 社団法人 電子情報通信学会 信学技報 TECHNICAL REPORT OF IEICE, US2002-118(2003-02)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、このような熱音響効果を利用した装置では、一般の熱交換装置などと同様に、エネルギー変換の効率性が要求される。そして、この熱音響効果を用いた装置のエネルギー変換の効率を向上させるには、加熱から定在波及び進行波の発生までの時間を短縮化する必要がある。また、音波が発生した後においてもエネルギー変換の効率を向上させる必要がある。このため、従来の装置では、ループ管の内部にプラントル数の小さいヘリウムや、プラントル数の大きいアルゴン、若しくは、これらの混合ガスを封入して定在波及び進行波の発生までの時間の短縮化と、音エネルギー及び熱エネルギーの変換効率の向上を図っている。

【0006】

しかしながら、このような従来用いられている装置のように、プラントル数の小さいヘリウムを使用すれば、音波の発生までの時間を短縮化できるようになるものの、発生した音波の音速が速くなってしまい、スタックの内壁との間でうまく熱交換を行うことができないという問題がある。また、アルゴンなどのように比較的プラントル数の大きい作動流

体を使用すれば、その粘性によって音速を落とすことができるものの今度は逆に音波の発生までの時間が長くなってしまいう問題がある。一方、ヘリウムとアルゴンの混合ガスを封入した場合は、その混合割合によっては音速が速くなり過ぎてしまったり、また、逆に、音波の発生までの時間が長くなり過ぎてしまったりする問題があった。更に、混合ガスの割合を最適な状態にした場合であっても、ループ管を長時間放置することによって混合されたガスが上下に分離してしまい、均一に混合された初期の状態と同じ効果を得ることができなくなるなどの問題があった。

【０００７】

そこで、本発明は上記課題に着目してなされたもので、音波の発生までの時間を短縮化できるようにするとともに、スタック内でうまく熱交換できるような熱音響装置などを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

本発明は上記課題を解決するために、ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、ループ管の内部に第一の作動流体を封入した後、当該第一の作動流体と異なる作動流体を注入して混合する混合手段を設けるようにしたものである。

【０００９】

このように構成すれば、第一の作動流体を封入しておき、例えば、音の発生直前や音が発生した後、若しくは、音が急に大きくなった後に、この第一の作動流体と異なる作動流体を注入するので、使用時においてループ管内の作動流体を均一な状態にすることができ、また、音の発生と熱の出力のバランスを考慮しながら最適な状態にガスを混合させることができるようになる。

【００１０】

そして、このように作動流体を混合する場合、先にループ管に封入された音速の速い作動流体に対して、後から音速の遅い作動流体を注入する。

【００１１】

このように構成すれば、迅速に音波を発生させることができるようになるとともに、音波発生後においては、熱交換の効率の良い状態に遷移させることができるようになる。

【００１２】

そして、このような態様としては、例えば、比重の小さい作動流体を先に封入しておき、後から比重の大きい作動流体を注入する。

【００１３】

また、別の態様としては、先にループ管に封入されたプラントル数の小さな作動流体に対して、後からプラントル数の大きい作動流体を注入する。

【００１４】

このように構成すれば、一定条件下において、プラントル数の小さな作動流体（すなわち、熱拡散係数に対して動粘性係数が小さい作動流体）を用いることによって迅速に音波を発生させることができ、その後注入されたプラントル数の大きい作動流体（すなわち、動粘性係数に対して熱拡散係数の小さい作動流体）によって、熱交換の効率に最も適した状態にすることができるようになる。

【００１５】

そして、このようなループ管として、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを具備してなるものを用い、混合手段を、当該ループ管の中央よりも上側に設けるようにする。

【0016】

このように構成すれば、相対的に重さの異なる作動流体を混合させる場合において後から重い作動流体を上方から注入すれば、ループ管内において作動流体を均一に混合させることができるようになる。

【0017】

また、このようなループ管を、地面に対して起立する複数の直線管部と、これら複数の直線管部を連結する連結管部とを設けて左右対称形状に構成し、このようなループ管に対して、混合手段を上側の連結管部の中央に設けるようにする。

【0018】

このように構成すれば、左右対称形状に構成されたループ管の上側中央から作動流体を注入するので、その注入された作動流体が均等に左右に分かれ、ループ管全体を均一に混合させることができるようになる。

【0019】

更に、音の発生を検知する音検知手段を設け、この音検知手段によってループ管内に発生した音が検知された場合や音の状態変動が検知された場合に、作動流体の注入を開始する。

【0020】

このように構成すれば、音の発生した後や音が急に大きくなったような場合に作動流体を注入するので、音の発生後若しくは大きな音が発生した後、迅速に熱交換に効率の良い状態にすることができるようになる。

【0021】

加えて、ループ管内の圧力を計測する圧力計測手段を設け、この圧力計測手段によって一定の圧力が計測された場合に作動流体の注入を停止する。

【0022】

このように構成すれば、常にループ管内の圧力を一定の圧力値に保つことができ、使用の都度、圧力が異なることによって熱交換の効率が変わってしまうなどといった不具合を防止することができるようになる。

【0023】

また、第二高温側熱交換器若しくは第二低温側熱交換器から出力される熱の時間的变化に基づいて作動流体の注入を停止する。

【0024】

このように構成すれば、第二高温側熱交換器から出力される熱の変化がなくなった場合であっても作動流体を注入し続けてしまうといった不具合を防止することができる。

【0025】

また、作動流体として、空気よりも軽い作動流体と空気よりも重い作動流体からなる作動流体を使用する場合、ループ管の下端部分に空気よりも重い作動流体を抜くための開口部を設けるようにする。

【0026】

このように構成すれば、例えば、空気よりも軽いヘリウムと空気よりも重いアルゴンなどを使用した場合、アルゴンのみを下端に設けられた開口部から抜くことができ、全ての作動流体を入れ替える必要がなくなる。

【発明の効果】

【0027】

本発明では、ループ管の内部に、第一高温側熱交換器と第一低温側熱交換器に挟まれた第一のスタックと、第二高温側熱交換器と第二低温側熱交換器に挟まれた第二のスタックとを具備してなり、前記第一高温側熱交換器を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二低温側熱交換器を冷却し、又は／及び、前記第一低温側熱交換器を冷却することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって前記第二高温側熱交換器を加熱する熱音響装置であって、ループ管の内部に第一の作動流体を封入した後、当該第一の作動流体と異

なる作動流体を注入して混合する混合手段を設けるようにしたので、ループ管内の作動流体を均一に混合させることができ、しかも、音の発生と熱の出力の加減を見ながら最適な混合状態にすることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下、本発明に係る熱音響装置1の第一の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0029】

この実施の形態における熱音響装置1は、図1に示すように、全体として略長方形状に構成されたループ管2の内部に、第一高温側熱交換器4及び第一低温側熱交換器5に挟まれた第一のスタック3aと、第二高温側熱交換器6及び第二低温側熱交換器7に挟まれた第二のスタック3bとを具備してなるもので、第一のスタック3a側の第一高温側熱交換器4を加熱することによって自励による定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波を第二のスタック3b側へ伝搬して第二のスタック3b側に設けられた第二低温側熱交換器7を冷却させるようにしたものである。

【0030】

そして、この実施の形態では、第一高温側熱交換器4の加熱開始から定在波及び進行波の発生までの時間を短縮化するとともに、発生した定在波及び進行波によるエネルギー変換の効率を上げるために、まず、ループ管2内に音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さい第一の作動流体を封入しておき、その後、定在波及び進行波を発生させてからこの第一の作動流体よりも音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きい第二の作動流体を注入するようにしたものである。

【0031】

一般に、このプラントル数 P_r は以下のように示される。

$$P_r = \nu \text{ (動粘性係数)} / \kappa \text{ (熱拡散係数)} = C_p \mu g / \lambda$$

C_p : 定圧比熱、 μ : 粘性率、 g : 重力加速度、 λ : 熱伝導率

【0032】

従って、異なる作動流体の熱拡散係数 κ が同じであると、プラントル数の小さい作動流体の方が動粘性係数 ν は小さくなり、これにより、音波の発生までの時間が短くなり、また、発生した音波の音速も早くなる。これに対して、プラントル数の大きい作動流体は相対的に動粘性係数 ν の方が大きくなり（熱拡散係数 κ が小さくなる）、音波の発生までに時間がかかるが、プラントル数が大きければ熱変換の効率は良くなる。また、比重と音速との関係については、比重が小さければ相対的に音速は速くなる傾向がある。このため、本実施の形態では、最初にヘリウムなどのような音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さい作動流体をループ管2内に封入しておき、これによって定在波及び進行波を迅速に発生させた後に、アルゴンなどのような音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きい作動流体を適宜注入して熱変換の効率を向上させるようにしている。以下、本実施の形態における熱音響装置1の詳細について説明する。

【0033】

この熱音響装置1を構成するループ管2は、地面に対して鉛直状に設けられた対向する一対の直線管部2aと、これら直線管部2aを連結する連結管部2bを具備してなるもので、金属製のパイプなどによって構成される。なお、このループ管2aの材質については金属などに限らず、透明なガラス、若しくは樹脂などによって構成することもでき、透明なガラスや樹脂などの材料で構成した場合は、実験等における第一のスタック3aや第二のスタック3bの位置の確認や管内の状況を容易に観察することができる。

【0034】

このように設けられた直線管部2a及び連結管部2bの長さは、直線管部2aの長さを L_a 、連結管部2bの長さを L_b とした場合、

【0035】

$$1 : 0.01 \leq L_a : L_b < 1 : 1$$

の範囲に設定され、好ましくは可能な限り直線管部 2 a を長くすべく、

【0036】

$$1:0.01 \leq L_a:L_b \leq 1:0.5$$

の範囲に設定するのが好ましい。

【0037】

このように直線管部 2 a の長さを長く設定すれば、この第一のスタック 3 a から発生した音波の波面をできる限り早く安定させることができる。

【0038】

そして、このように構成されたループ管 2 の内部には、第一高温側熱交換器 4 と第一低温側熱交換器 5 とに挟まれた第一のスタック 3 a 及び、第二高温側熱交換器 6 と第二低温側熱交換器 7 とに挟まれた第二のスタック 3 b が設けられる。

【0039】

この第一のスタック 3 a は、ループ管 2 の内壁に接するような円柱状に構成され、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布などのように熱容量の大きい材質であって、ループ管 2 の軸方向に貫通する多孔を有して構成される。なお、この第一のスタック 3 a は、図 2 や図 3 に示すように、中心から順次外側へ向けて内径を大きくした導通路 3 0 を多数有するようなスタック 3 c や、中心から順次外側へ向けて内径を小さくした導通路 3 0 を有するスタック 3 d を用いるようにしても良い。また、図 4 や図 5 に示すように、例えば、微小の球状セラミクスなどを多数敷き詰めて蛇行する導通路 3 0（太線で示される導通路 3 0）を有するようなスタック 3 e や、ループ管 2 の内周面に近い側の導通路 3 0 の流路長を短くしたスタック 3 f などを用いても良い。

【0040】

第一高温側熱交換器 4 及び第一低温側熱交換器 5 は、共に薄い金属で構成され、その内側に定在波及び進行波を導通させるための貫通孔を設けて構成される。そして、これらの熱交換器のうち、第一高温側熱交換器 4 は外部から供給される電力、若しくは、廃熱や未利用エネルギーなどによって加熱されるように構成される、一方、第一低温側熱交換器 5 はその周囲に水を循環させて相対的に第一高温側熱交換器 4 よりも低い温度となるように設定される。

【0041】

そして、このように第一高温側熱交換器 4 及び第一低温側熱交換器 5 によって挟まれた第一のスタック 3 a は、第一高温側熱交換器 4 を上側に設けた状態で直線管部 2 a の中央よりも下方側に設けられる。このように第一のスタック 3 a を直線管部 2 a の中央より下方に設けるようにするのは、第一高温側熱交換器 4 を加熱する際に生じる上昇気流を利用して迅速に音波を発生させるようにするためであり、また、第一高温側熱交換器 4 を加熱する際に発生する暖かい作動流体を第一のスタック 3 a 内に入り込ませないようにするためである。そして、このように第一のスタック 3 a 内に暖かい作動流体を入り込ませないようにすることによって、第一のスタック 3 a 内で大きな温度勾配を形成させられるようにしている。

【0042】

ここで第一のスタック 3 a で自励による音波が発生するための条件としては、この第一のスタック 3 a 内に作動流体が流れる際の平行通路の流路半径を r 、作動流体の角周波数を ω 、温度拡散係数を α 、温度緩和時間を τ ($= r^2 / 2\alpha$) とした場合、 $\omega\tau$ が $0.2 \sim 20$ の範囲内である場合に最も効率良く自励による音波を発生させることができる。このため、これらの関係を満たすように r 、 ω 、 τ を設定する。また、図 1 におけるループ管 2 の左上における直線管部 2 a の一端と連結管部 2 b の一端とを連結したときのそれぞれの中心軸の交点を回路の始点 X とし、回路全長を 1.00 とした場合、第一のスタック 3 a の中心を始点 X から反時計回りに回路全長の 0.28 ± 0.05 となる位置に設定すれば、より迅速かつ効率良く自励による音波を発生させることができる。

【0043】

一方、第二のスタック 3 b は、第一のスタック 3 a と同様に、ループ管 2 の内壁に接す

るような円柱状に構成され、セラミクス、焼結金属、金網、金属製不織布などのように熱容量の大きい材質であって、ループ管2の軸方向に貫通する孔を多数有して構成される。この第二のスタック3bは、ループ管2に沿った作動流体の圧力変動が、第一のスタック3aの近傍に第一のピークが存在し、更に回路全長の約1/2進んだ位置に第二のピークが存在する場合に、そのスタック3bの中心が第二のピークを過ぎた場所に位置するように設置される。この第二のスタック3bの構造については、第一のスタック3aと同様に、図2や図3に示すように、中心から順次外側へ向けて内径を大きくした導通路30を多数有するようなスタック3cや、中心から順次外側へ向けて内径を小さくした導通路30を有するスタック3dを用いるようにしても良い。また、図4や図5に示すように、例えば、微小の球状セラミクスなどを多数敷き詰めて蛇行する導通路30（太線で示される導通路30）を有するようなスタック3eや、ループ管2の内周面に近い側の導通路30の流路長を短くしたスタック3fなどを用いても良い。

【0044】

また、この第二のスタック3b側に設けられる第二高温側熱交換器6及び第二低温側熱交換器7も、同様に、ともに薄い金属で構成され、その内側に定在波及び進行波を導通させるための貫通孔を設けて構成される。そして、第二高温側熱交換器6の周囲に水を循環させるようにするとともに、第二低温側熱交換器7に冷却の対象物に接続する。この冷却の対象物としては、外気や、発熱を伴う家電製品、パーソナルコンピュータのCPUなどが考えられるが、これ以外の対象物を冷却するようにしても良い。

【0045】

このように構成されたループ管2の内部には、プラントル数の小さい第一の作動流体としてのヘリウムと、この第一の作動流体よりもプラントル数の大きい第二の作動流体としてのアルゴンが封入される。

【0046】

これらの作動流体を封入する場合、音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムを使用すれば、音波の発生までの時間を短縮化することができるが、音速が速くなってしまっていて、スタック内壁との間でうまく熱交換を行うことができない。また、逆に音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も小さいアルゴンなどを使用すると、粘性が高くなって音波を迅速に発生させることができない。このため、本実施の形態では、迅速に音波を発生させるために、最初にヘリウムをループ管2の内部に封入しておき、その後、定在波及び進行波が発生した後にアルゴンを注入するようにしている。そして、このような第二の作動流体を注入する場合としては、次のようにして行う。

【0047】

まず、図1に示すように、ループ管2の上側にヘリウムを充填したヘリウム気体注入装置9aとアルゴンを充填したアルゴン気体注入装置9bを設け、これらの気体注入装置9a、9bを共通の注入口9dに接続しておく。この注入口9dは上側の連結管部2bの中央部分に設けられ、ヘリウム気体注入装置9aのバルブ9cとアルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを開放することによって共通の注入口9dからそれぞれの作動流体をループ管2内に注入できるようにする。このようにした状態で、まず、ヘリウム気体注入装置9aのバルブ9cを開放しループ管2内にヘリウムを封入する。そして、このようにヘリウムを封入した状態で第一低温側熱交換器5及び第二高温側熱交換器6の周囲に水を循環させるとともに、第一高温側熱交換器4側を加熱する。すると、第一高温側熱交換器4と第一低温側熱交換器5との間の温度差によって第一のスタック3a内に温度勾配が発生し、作動流体が微小に揺らぎ始め、次に、この作動流体が大きく振動し始めてループ管2内を周回する。この際、ループ管2内に音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムガスを封入しているため、定在波及び進行波を迅速に発生させることができる。そして、この定在波及び進行波が発生させた後、アルゴン気体注入装置9bのバルブ9cを開放し、音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きいアルゴンをループ管2の上側から注入していく。すると相対的に比重の大きいアルゴンはループ管2内の下方に向かって移動し、その際、比重の小さいヘリウムと均一に混ざり合わされる。そして、このよう

に混合された状態で第一のスタック 3 a から発生した音エネルギーは、エネルギー保存の法則に基づき、第一のスタック 3 a 内での熱エネルギーの移送方向（第一高温側熱交換器 4 から第一低温側熱交換器 5 の方向）と逆方向、すなわち、第一低温側熱交換器 5 から第一高温側熱交換器 4 の方向に移送され、ループ管 2 を介して第二のスタック 3 b 側へ移送される。そして、第二のスタック 3 b 側では、定在波及び進行波に基づく作動流体の圧力変化及び体積変化によって作動流体を膨張・収縮させ、その際に生じた熱エネルギーを音エネルギーの移送方向と逆方向である第二低温側熱交換器 7 から第二高温側熱交換器 6 側へ移送させる。このようにして、第二低温側熱交換器 7 を冷却し、目的の対象物を冷却するようにする。

【0048】

なお、このようにアルゴンを注入する場合の方法としては、次のような方法を用いることができる。

【0049】

まず、ループ管 2 の外周部分若しくは内部に、図 6 に示すような音の発生を検知する音検知手段 8 a を設け、この音検知手段 8 a からの出力信号によってアルゴン気体注入装置 9 b のバルブ 9 c を開放するようにする。この音検知手段 8 a としては、特定周波数の音波を検知する方法や、ループ管 2 の振動を検知する方法などが考えられるが、これ以外に、種々の方法を用いるようにしても良い。

【0050】

また、アルゴン気体注入装置 9 b からの注入を停止する場合は、次のようにして行う。

【0051】

まず、ループ管 2 内の圧力を計測する圧力計などの圧力計測手段 9 0 を設け、この圧力計測手段 9 0 が一定の圧力値を計測した場合にアルゴン気体注入装置 9 b のバルブ 9 c を閉じるようにする。この圧力としては、例えば、0.01 MPa～5 MPa の範囲内で設定され、ループ管 2 が比較的小さく構成されている場合は粘性の影響を少なくすべく小さな圧力値に設定される。

【0052】

また、このように圧力計測手段 9 0 によってアルゴン気体注入装置 9 b のバルブ 9 c を制御するだけでなく、第二低温側熱交換器 7 から出力される熱の変化に基づいてバルブ 9 c の開閉制御する熱変化制御手段 9 1 を設けるようにしても良い。この熱変化制御手段 9 1 を用いる場合、例えば、第二低温側熱交換器 7 から出力される熱の時間的変化が一定値以下になった場合にアルゴン気体注入装置 9 b のバルブ 9 c を閉じて注入を停止するように制御する。このように構成すれば、無駄にアルゴンを注入してしまうことがなくなり、ガスを節約することができるようになる。なお、このように熱の時間的変化に基づいてバルブ 9 c の開閉制御をする場合、上述のような圧力によるバルブ 9 c の開閉制御と併用するようにしても良い。このように構成すれば、無制限に加圧してしまうことがなくなり、装置 1 の破損などを防止することができるようになる。

【0053】

更に、このような装置 1 を用いる場合、使用の都度ガス抜き作業をして新たな混合ができるように、ループ管 2 に閉止可能な開口部 2 c を設ける。この開口部 2 c はループ管 2 の下端部分に設けるのが好ましく、装置 1 の使用終了後この開口部 2 c を開放することによって相対的に比重の大きい作動流体を空気中に放出する。このように構成すれば、使用の終了後一定時間を経過すると相対的に比重の大きいアルゴンがループ管 2 の下方に沈殿し、空気よりも重いアルゴンのみが開口部 2 c から空気中に放出されることになる。また、次の使用時に再びヘリウムを上側から充填する場合、ループ管 2 内に入り込んだ空気を押し出して下方の開口部 2 c から放出することができ、ループ管 2 内のヘリウムの密度を高くすることができるようになる。

【0054】

このように上記実施の形態によれば、ループ管 2 の内部に一の作動流体を封入した状態で自励による定在波及び進行波を発生させ、その後、この作動流体と異なる作動流体を注

入する気体注入装置 9 b を設けるようにしたので、音波の発生とエネルギー変換の効率性を考慮した最もバランスのとれた状態に設定することができるようになる。

【0055】

そして、この実施の形態においては、音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムを先に封入しておき、その後、音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も大きいアルゴンを注入するようにしたので、このようなヘリウムによって音波を迅速に発生させるとともに、音波発生後、アルゴンによって熱交換の効率に最も適した状態にすることができる。

【0056】

また、ループ管 2 として、地面に対して鉛直状に設けられた複数の直線管部 2 a と、この直線管部 2 a を連結する連結管部 2 b を具備してなるものを用い、このループ管 2 の中央よりも上側にアルゴン気体注入装置 9 b を設けるようにしたので、ヘリウムよりも重いアルゴンを上側から注入することによって均一に作動流体を混合することができるようになる。

【0057】

そして、ループ管 2 を左右対称形状に構成し、そのループ管 2 の上側中央部分にその気体注入装置 9 b の注入口 9 d を設けるようにしたので、注入口 9 d から注入されたアルゴンを左右に分離してループ管内に均一に作動流体を注入することができるようになり、これにより、音波発生のムラや熱交換のムラをなくすことができるようになる。

【0058】

更に、音の発生を検知する音検知手段 8 a を設け、この音検知手段 8 a によってループ管内に発生した音が検知された場合に、プラントル数の大きい作動流体を注入するようにしたので、音波の発生時間の短縮化を図ると同時に熱交換の効率を向上させることができるようになる。

【0059】

加えて、圧力計測手段 9 0 を設け、ループ管 2 内の圧力が一定値になった場合に作動流体の注入を停止するようにしたので、常にループ管内の圧力を一定に保つことができ、使用の都度、圧力が異なることによって熱変換の効率が変わってしまうといった不具合を防止することができるようになる。

【0060】

また、作動流体の注入を停止する場合の別の態様として、第二高温側熱交換器 6 から出力される熱の時間的变化に基づいて作動流体の注入を停止するようにしたので、無駄に作動流体を注入し続けてしまうといった無駄を防止することができるようになる。

【0061】

更に、空気よりも軽いヘリウムに対して空気よりも重いアルゴンを注入する場合、ループ管 2 の下端部分にアルゴンを抜くための開口部 2 c を設けるようにしたので、その開口部 2 c を開放することによってアルゴンのみを空气中に放出することができ、全ての作動流体を入れ替える必要がなくなる。

【0062】

なお、本発明は上記実施の形態に限定されることなく、種々の態様で実施することができる。

【0063】

例えば、上述のような熱音響装置 1 では、第一のスタック 3 a 内に設けられた温度勾配によって自励による音波を発生させるようにしているが、この自励による音波の発生を促進するために、ループ管 2 の外周部若しくは内部に音波発生装置 8 b を設けるようにしても良い。この音波発生装置 8 b としては、スピーカーや圧電素子、その他、外部から作動流体を強制振動させるような装置で構成され、好ましくは、発生する定在波及び進行波の $1/2$ 波長、 $1/4$ 波長の間隔を設けて取り付けられる。また、定在波及び進行波の進行方向に対応してループ管 2 の軸方向に作動流体を強制振動させるように設けるのが好ましい。このように音波発生装置 8 b を設けると、定在波及び進行波の発生時間を短縮するこ

とができ、迅速に第二低温側熱交換器 7 を冷却することができるようになる。

【0064】

また、このような熱音響装置 1 だけでは十分な冷却効果を得ることができない場合、図 7 に示すように、熱音響装置 1 を複数連結させた熱音響システム 100 を用いるようにするようによっても良い。図 7 において、1 a、1 b…1 n は上述のように構成された熱音響装置 1 を示す。これらの第一の熱音響装置 1 a、第二の熱音響装置 1 b…第 n の熱音響装置 1 n は隣接して直列に設けられ、また、気体注入装置 9 a、9 b は全て若しくは複数の熱音響装置 1 a、1 b…1 n に対して共通に設けられる。これらの熱音響装置 1 a…における第一高温側熱交換器 4 は、全てヒーターなどで加熱され、一方、それぞれにおける熱音響装置 1 a…の第二低温側熱交換器 7 は、これに隣接する熱音響装置 1 b…の第一低温側熱交換器 5 に連結される。これによって、第一の熱音響装置 1 a における第一のスタック 3 a の温度勾配よりも第二の熱音響装置 1 における温度勾配の方を大きくすることができ、順次下流側に向けて熱音響装置 1 n の温度勾配が大きくなることができ、末端の熱音響装置 1 n からより低い熱を出力することができるようになる。なお、このように熱音響装置 1 a…を連結する場合、各熱音響装置 1 a…で音波を自励させようとする、末端の熱音響装置 1 n で定在波及び進行波が発生するまでの間に非常に長い時間を要することになる。このため、特にループ管 2 の外周面若しくは内部に音波発生装置 8 b を設けて各熱音響装置 1 a…での定在波及び進行波の発生までの時間を短縮化するように構成すると良い。また、このようなシステム 100 において各ループ管 2 で音波を発生させる場合、共通に設けられた気体注入装置 9 b のバルブ 9 c を制御し、各ループ管 2 で音波が発生するごとにそのループ管 2 に対応したバルブ 9 c を開放して作動流体を注入すると良く、また、注入を停止する場合についても同様に、各ループ管 2 に設けられた圧力計測手段 9 0 や熱変化制御手段 9 1 によって注入の停止を行うようにしても良い。

【0065】

また、上記実施の形態では、第一のスタック 3 a 側を加熱して第二のスタック 3 b 側を冷却する熱音響装置 1 を例に挙げて説明したが、これとは逆に、第一のスタック 3 a 側を冷却して第二のスタック 3 b 側を加熱するようにしても良い。この熱音響装置 1 の例を図 8 に示す。

【0066】

図 8 において、図 1 から図 6 までと同じ符号を示すものは上記説明したものと同一構造を有するものを示す。この図 8 においては、第一のスタック 3 a を直線管部 2 a の中央よりも上方に設けるとともに、第二のスタック 3 b をこれに対向する直線管部 2 a の適所に設けるようにしている。この第一のスタック 3 a 及び第二のスタック 3 b の設置位置としては、上記実施の形態における設置条件と同じ条件となる位置に設けると良い。そして、第一低温側熱交換器 5 にマイナス数十度若しくはこれよりも低い冷熱を入力するとともに、第一高温側熱交換器 4 および第二低温側熱交換器 7 に不凍性の液体を循環させる。すると熱音響効果の原理により、第一のスタック 3 a に形成された温度勾配によって自励の音波が発生し、比較的長く設定された直線管部 2 a で波面を安定させ、また、冷熱の下降気流を利用して迅速に定在波及び進行波を発生させる。この定在波及び進行波の音エネルギーの進行方向は、第一のスタック 3 a における熱エネルギーの移送方向（第一高温側熱交換器 4 から第一低温側熱交換器 5 の方向）と逆方向に向かうように発生する。この定在波及び進行波による音エネルギーは、第二のスタック 3 b 側へ伝搬され、第二のスタック 3 b 側では、定在波及び進行波に基づく作動流体の圧力変化及び体積変化によって作動流体が膨張・収縮を繰り返す、その際に生じた熱エネルギーを音エネルギーの移送方向と逆方向である第二低温側熱交換器 7 から第二高温側熱交換器 6 側へ移送する。このようにして、第二高温側熱交換器 6 を加熱する。

【0067】

なお、この実施の形態においても、定在波及び進行波の発生を促進するためにループ管 2 の外周面若しくは内部に音波発生装置 8 b を設けるようにしても良く、また、このような熱音響装置 1 を図 7 に示すように連結して末端側の熱音響装置 1 からより高い熱を出力

するようにしても良い。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 8 】

【図 1】 本発明の一実施の形態を示す熱音響装置の概略図

【図 2】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 3】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 4】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 5】 他の実施の形態におけるスタックの形状を示す図

【図 6】 音検知手段、圧力計測手段、熱変化制御手段を設けた熱音響装置の概略図

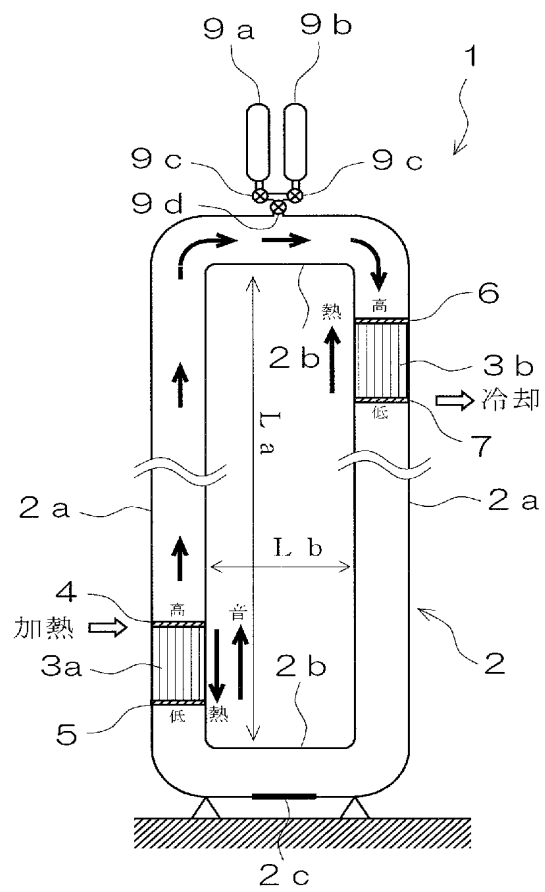
【図 7】 音響暖房装置を連結させた音響暖房システムの概略図

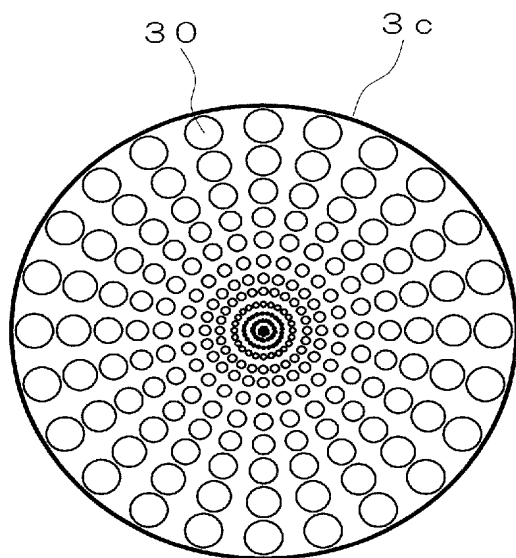
【図 8】 他の実施の形態における熱音響装置の概略図

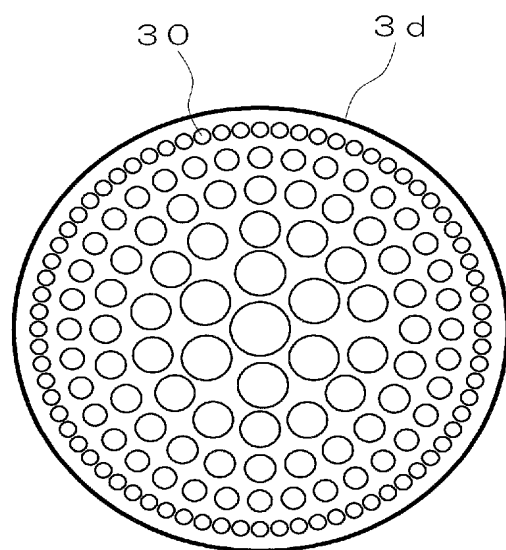
【符号の説明】

【 0 0 6 9 】

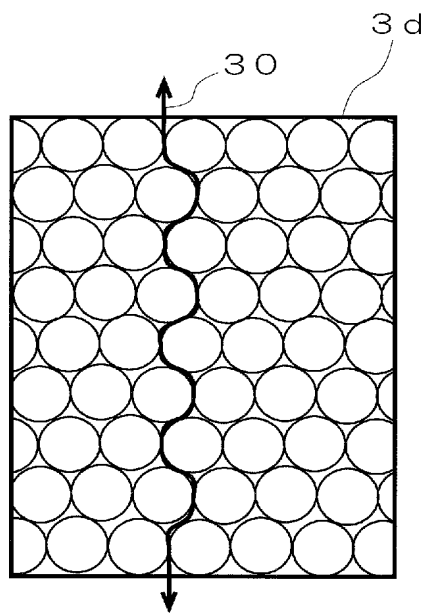
- 1 . . . 熱音響装置
- 2 . . . ループ管
- 2 a . . . 直線管部
- 2 b . . . 連結管部
- 2 c . . . 開口部
- 3 a . . . 第一のスタック
- 3 b . . . 第二のスタック
- 3 c . . . スタック
- 3 d . . . スタック
- 3 e . . . スタック
- 3 f . . . スタック
- 3 0 . . . 導通路
- 4 . . . 第一高温側熱交換器
- 5 . . . 第一低温側熱交換器
- 6 . . . 第二高温側熱交換器
- 7 . . . 第二低温側熱交換器
- 8 a . . . 音検知手段
- 8 b . . . 音波発生装置
- 9 a . . . ヘリウム気体注入装置
- 9 b . . . アルゴン気体注入装置
- 9 c . . . バルブ
- 9 d . . . 注入口
- 9 0 . . . 圧力計測手段
- 9 1 . . . 熱変化制御手段
- 1 0 0 . . . 熱音響システム

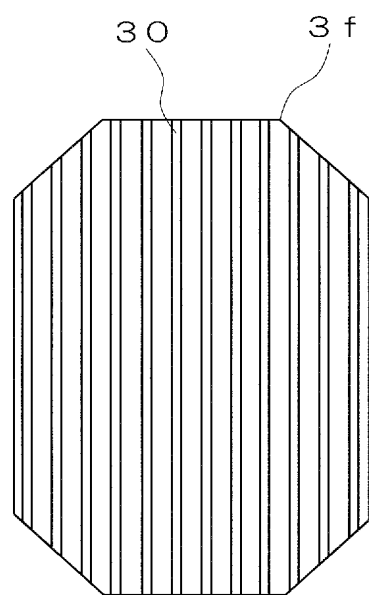




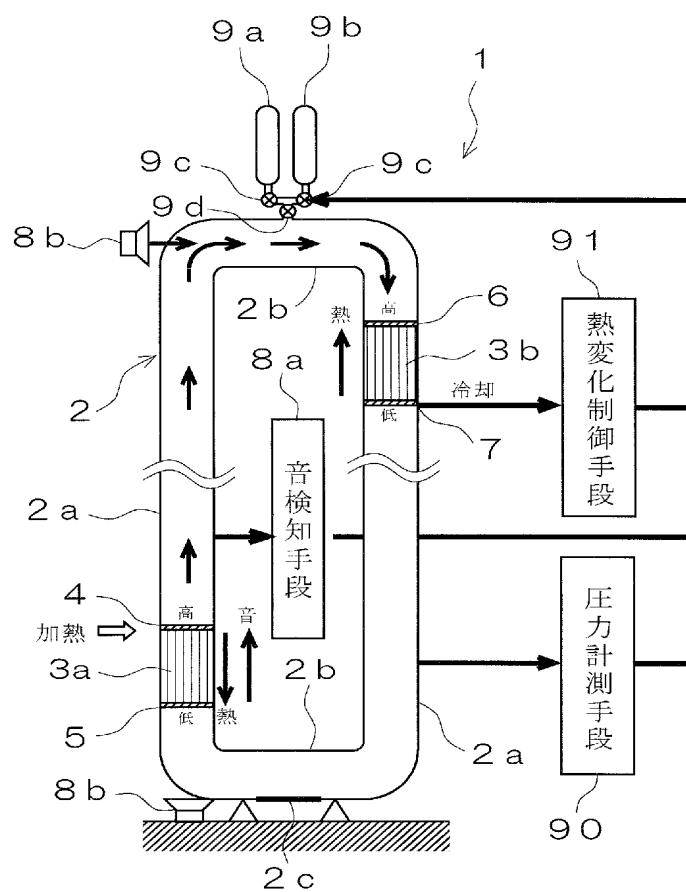


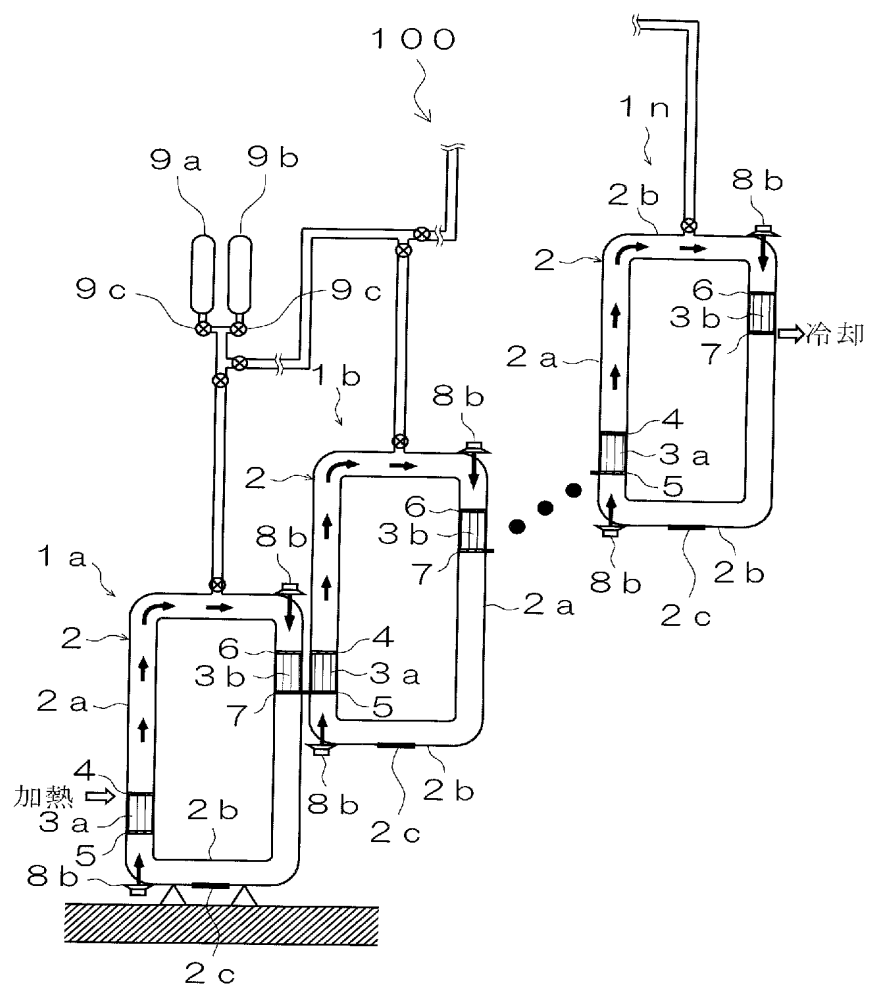
【 図 4 】



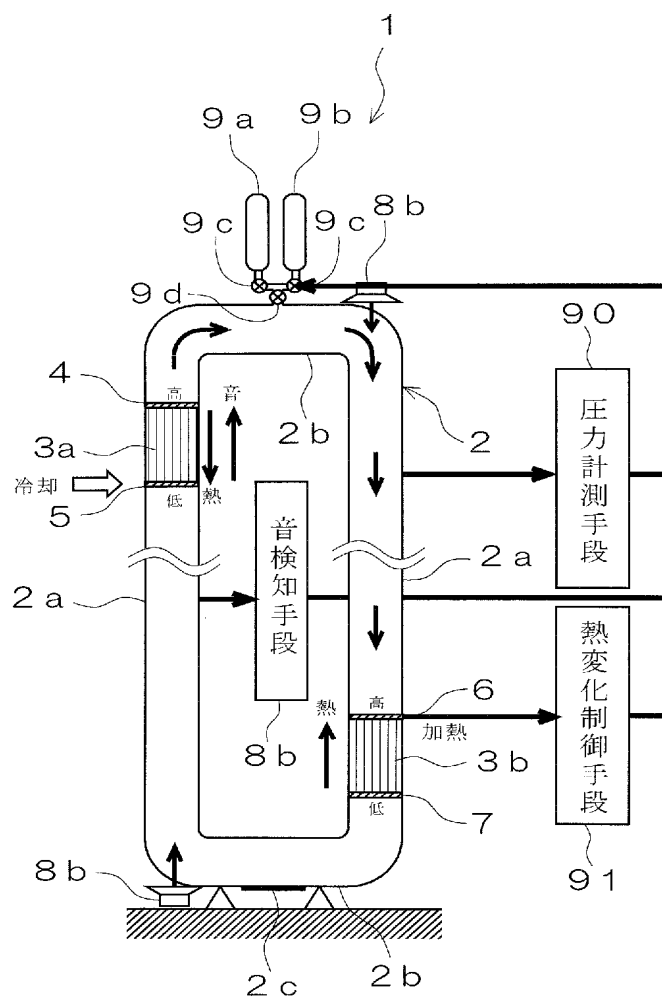


【図 6】





【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 音波の発生までの時間を短縮化するとともに、スタック内でうまく熱交換できる熱音響装置を提供する。

【解決手段】 ループ管 2 の内部に、第一高温側熱交換器 4 と第一低温側熱交換器 5 に挟まれた第一のスタック 3 a と、第二高温側熱交換器 6 と第二低温側熱交換器 7 に挟まれた第二のスタック 3 b とを設け、第一高温側熱交換器 4 を加熱することによって定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって第二低温側熱交換器 7 を冷却し、又は／及び、第一低温側熱交換器 5 を冷却することによって定在波及び進行波を発生させ、この定在波及び進行波によって第二高温側熱交換器 6 を加熱する熱音響装置 1 であって、ループ管内に音速が速く、プラントル数が小さく、比重も小さいヘリウムを封入した状態で定在波及び進行波を発生させ、その後、音速が遅く、プラントル数が大きく、比重も小さいアルゴンを注入する。

【選択図】 図 1

出願人履歴

5 0 3 0 2 7 9 3 1

20030404

住所変更

5 0 3 0 6 1 4 7 4

京都府京都市上京区今出川通烏丸東入玄武町 6 0 1

学校法人同志社